

PENGARUH TEKANAN GAS ISIAN ARGON-ETANOL DAN ARGON-BROM TERHADAP UNJUK KERJA DETEKTOR GEIGER-MUELLER

Sayono, BA. Tjipto Sujitno

PTAPB – BATAN Yogyakarta

Jl Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta 55281

Diterima 14 Januari 2010, diterima dalam bentuk perbaikan 22 Maret 2010, disetujui 13 April 2010

ABSTRAK

PENGARUH TEKANAN GAS ISIAN ARGON-ETANOL DAN ARGON-BROM TERHADAP UNJUK KERJA DETEKTOR GEIGER-MUELLER. Telah dilakukan penelitian pengaruh tekanan gas isian Ar-etanol dan Ar-Br terhadap unjuk kerja detektor Geiger-Mueller. Tabung detektor Geiger-Mueller terbuat dari bahan stainless steel dengan ukuran diameter tabung 1,6 cm, anoda terbuat dari bahan kawat tungsten dengan diameter 0,008 cm, panjang daerah aktif 10 cm dan tebal jendela yang mempunyai density thickness sekitar 0,39 g/cm². Tekanan gas isian Ar-etanol divariasikan masing-masing 7:1, 9:1, dan 19:1, sedang untuk Ar-Br perbandingan tekanannya 100:1, 50:1 dan 33:1. Dari hasil pengujian terbaik diperoleh untuk perbandingan tekanan gas Ar-etanol sebesar 9:1 dihasilkan panjang plateau 180 V, slope 9,60 %/100 V, resolving time $\tau = 6,725 \mu$ detik dan tegangan operasi 1160 V. Untuk gas Br sebagai gas pemadam dengan perbandingan tekanan 100:1 diperoleh panjang plateau 100 V, slope 7,6 %/100 V, resolving time $\tau = 7,75 \mu$ detik dan tegangan operasi 540 V. Pada penelitian ini umur detektor belum dapat diprediksi karena selama melakukan pengujian detektor masih memiliki plateau yang panjang dan bentuk pulsanya belum mengalami discharge. Jumlah cacah yang dihasilkan detektor untuk gas isian Ar-etanol sebesar $3,105 \times 10^6$ cacah, sedang untuk Ar-Br sebesar $1,102 \times 10^7$ cacah.

Kata kunci : Detektor Geiger-Mueller, pemadam, plateau, slope dan resolving time

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF ARGON-ETHANOL AND ARGON-BROMINE MAIN FILLING GAS PRESSURE ON THE PERFORMANCE OF GEIGER-MUELLER DETECTOR. It has been research on the influence of Ar-ethanol and Ar-Br. Filled as pressure on the performance of Geiger-Mueller detector. The Geiger-Mueller detector tube is made of stainless steel with diameter of 1.6 cm, anoda is made of tungsten wire of 0.008 cm in diameter, the length of active media is 10 cm and density thickness window 0.39 g/cm². The pressure of Ar-ethanol as filling gas were varied i.e 7:1, 9:1, and 19:1 respectively, while the ratio of pressure between Ar-Br is 100:1; 50:1 and 33:1. The test result shows that the best result is obtained at ratio between Ar-ethanol 9:1, the length of plateau is 180 V, slope is 9.60 %/100 V, resolving time is 6.725 μ S and operating voltage is 1160 V. Meanwhile, Br as quenching in the ratio of 100:1, the length of plateau is 100 V, the slope is 7.68 %/100 V, the resolving time 7.75 μ S and operating voltage is 540 V. In this research, the detector life time can not be predicted because the detector during the process of testing and still has a long plateau and the pulse shape non discharged. The number of counting resulted from the detector with Ar-ethanol as filling gas is 3.105×10^6 counts, while for Ar-Br is 1.102×10^7 counts.

Key word : Geiger-Mueller detector, quenching, plateau, slope dan resolving time

PENDAHULUAN

Detektor nuklir merupakan instrumen bagian terdepan pada sistem instrumentasi nuklir yang berfungsi untuk mengubah besaran radiasi menjadi sinyal atau pulsa listrik, selanjutnya melalui seperangkat alat elektronik sinyal listrik dari keluaran detektor tersebut diproses menjadi informasi cacah atau pulsa listrik yang besarnya sebanding dengan intensitas atau energi radiasi yang datang ke detektor^[1,2].

Dalam perkembangannya detektor nuklir dikelompokkan menjadi 4 yakni detektor isian gas, detektor sintilasi, detektor semikonduktor dan detektor neutron. Detektor isian gas terdiri dari detektor kamar ionisasi, detektor proporsional dan detektor Geiger-Mueller. Dalam aplikasinya di lapangan detektor isian gas Geiger-Mueller banyak digunakan, misalnya untuk surveymeter, monitoring lingkungan, mengetahui kebocoran pada pengelasan tangki minyak, mengukur ketebalan bahan dan lain-lain^[2].

Prinsip kerja detektor Geiger-Mueller adalah memanfaatkan adanya proses ionisasi sekunder yang berasal dari ionisasi primer akibat interaksi zarah radiasi dengan medium gas isian detektor setelah diberi beda

potensial tertentu. Adanya beda potensial pada anoda dan katoda akan menimbulkan medan listrik, akibatnya pasangan ion-elektron mendapat tambahan energi kinetik sehingga dalam perjalanannya menuju elektroda (ion menuju katoda dan elektron ke arah anoda) dapat mengionisasi gas isian sehingga terjadi pasangan ion-elektron sekunder dan bila ion-elektron sekunder masih kelebihan energi akan menumbuk gas isian lagi yang menyebabkan ionisasi tersier dan seterusnya, dan akhirnya akan terjadi jumlah pasang ion-elektron yang banyak sekali atau sering disebut peristiwa *avalanche*. Pengumpulan elektron pada anoda selanjutnya dikeluarkan melewati tahanan sehingga timbul denyut atau pulsa listrik yang besarnya sebanding dengan intensitas radiasi yang datang^[3].

Penelitian tentang pembuatan detektor Geiger-Mueller telah dimulai pada dekade delapan puluhan di PPBML yang sekarang bernama PTAPB-BATAN, pada saat itu tabung detektor yang berfungsi sebagai katoda dibuat dari tabung gelas yang bagian dalamnya dilapisi dengan tembaga dengan teknik evaporasi/penguapan sedang anoda dibuat dari kawat tungsten. Detektor Geiger-Mueller yang telah dibuat mempunyai spesifikasi teknis mekanik diameter tabung 1,6 cm, diameter anoda 0,008 cm dan panjang daerah aktif 10 cm, dengan gas isian argon (Ar)-etanol. Dari hasil pengujian karakteristik detektor diperoleh panjang daerah tegangan kerja (*plateau*) 100-150 volt, *slope* 10-20 %/100 volt, tegangan operasi 1100-1300 volt, waktu yang diperlukan oleh detektor untuk dapat mencacah radiasi yang datang berikutnya (*resolving time*) dalam orde ratusan mikro detik dan umur detektor sekitar 10^6 cacah^[2,4].

Permasalahan yang selalu muncul dalam membuat detektor nuklir Geiger-Mueller selama ini adalah *plateau*, *slope* dan tegangan operasi cepat berubah menjadi lebih tinggi sehingga umur detektor menjadi pendek. Kelemahan ini tentunya merupakan tantangan yang harus dicari solusinya. Tegangan operasi yang cepat berubah menjadi lebih tinggi dimungkinkan karena pemilihan jenis gas yang digunakan dan perbandingan antara tekanan gas isian detektor yang kurang tepat, umur detektor pendek dimungkinkan karena adanya kebocoran gas isian melalui sambungan pada anoda maupun katoda karena sistem pengelasan antara gelas dan logam yang kurang baik. Berdasarkan pada permasalahan tersebut, maka dilakukan penelitian dengan judul Pengaruh Tekanan Gas Isian Argon-Etanol (Ar-etanol) dan Argon-Brom (Ar-Br) Terhadap Unjuk Kerja Detektor Geiger-Mueller

Tujuan penelitian adalah diperoleh perbandingan tekanan gas isian yang tepat untuk Ar-etanol dan Ar-Br sehingga dihasilkan unjuk kerja pada detektor Geiger-Mueller yang terbaik yakni diperoleh panjang *plateau* ≥ 100 volt, *slope* $\leq 10\%/100$ volt dan tegangan operasi 1000-1250 volt untuk gas isian Ar-etanol dan 600-850 volt untuk Ar-Br^[5].

Ruang lingkup penelitian meliputi pembuatan tabung detektor, pengisian gas isian gas Ar-ethanol dan Ar-brom dan pengujian karakteristik detektor yang meliputi panjang *plateau*, *slope*, tegangan operasi, *resolving time*, faktor koreksi dan umur detektor.

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat dikuasainya teknologi pembuatan detektor nuklir khususnya detektor Geiger-Mueller dan karakterisasinya sehingga dapat meningkatkan kemampuan Sumber Daya Manusia (SDM) dan dapat menjadi acuan untuk penelitian berikutnya serta dapat menunjang kegiatan penelitian dan pengembangan di bidang iptek nuklir.

DASAR TEORI

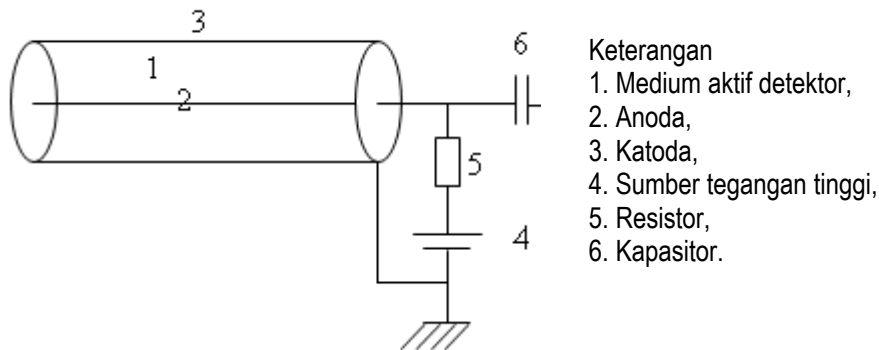
Detektor Isian Gas

Detektor isian gas merupakan tabung tertutup yang berisi gas dan terdiri dari 2 buah elektroda. Dinding tabung sebagai elektroda negatif (katoda) dan kawat yang terbentang di dalam tabung pada poros sebagai elektroda positif (anoda). Skema detektor isian gas disajikan pada Gambar 1.

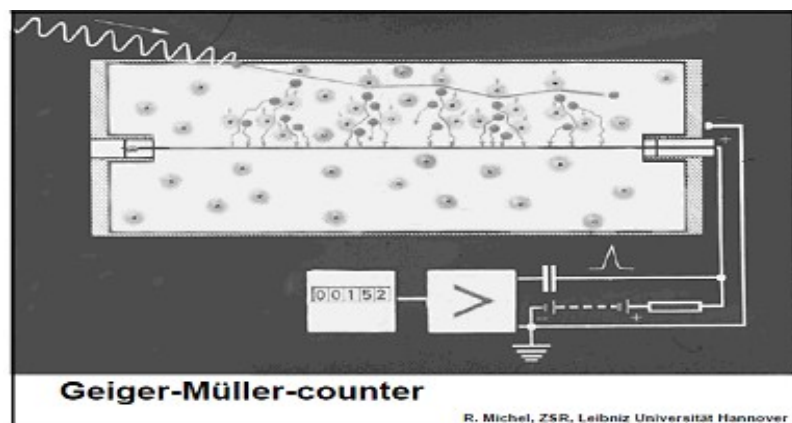
Detektor isian gas prinsip kerjanya memanfaatkan terjadinya ionisasi gas isian pada medium aktif dalam detektor akibat adanya interaksi dengan zarah radiasi maka akan timbul pasangan ion-elektron. Dengan adanya beda potensial pada anoda dan katoda maka akan timbul medan listrik, sehingga pasangan ion-elektron akan terpisahkan. Ion akan bergerak ke arah katoda dan elektron bergerak ke anoda.

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa detektor Geiger-Mueller merupakan salah satu jenis detektor isian gas yang bekerjanya memanfaatkan ionisasi sekunder yang berasal dari ionisasi primer akibat interaksi radiasi dengan medium gas isian detektor. Oleh karena kedua elektroda diberi beda potensial maka akan timbul medan listrik, akibatnya pasangan ion-elektron mendapat tambahan energi kinetik sehingga dalam perjalanannya

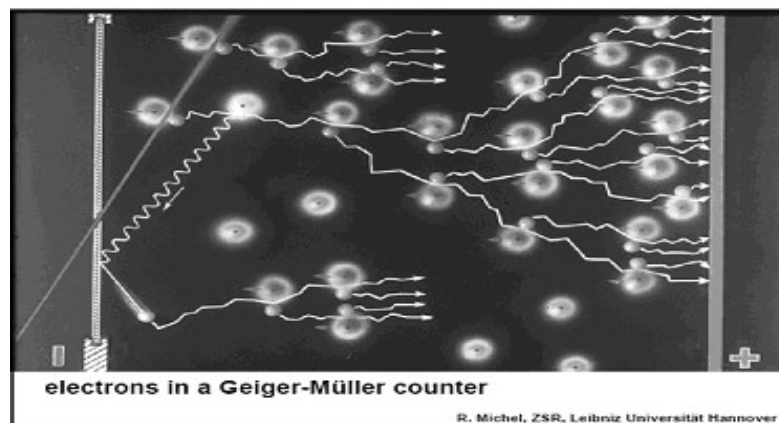
menuju elektroda (ion menuju katoda dan elektron ke arah anoda) dapat mengionisasi gas isian sehingga terjadi pasangan ion-elektron sekunder. Skema prinsip kerja detektor Geiger-Mueller dan proses ionisasi sekunder disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 1. Skema detektor isian gas^[6].



Gambar 2. Skema prinsip kerja detektor Geiger-Mueller^[7].



Gambar 3. Proses ionisasi sekunder di dalam tabung detektor Geiger-Mueller^[7].

Pada tegangan tertentu peristiwa terjadinya *avalanche* tidak tergantung lagi oleh jenis dan energi radiasi yang datang, namun masih sebanding dengan intensitas radiasi yang datang, sehingga pulsa-pulsa listrik yang terjadi amplitudonya tidak tergantung oleh energi radiasi, tinggi amplitudo pulsa sama besar, hanya kuantitasnya

yang sebanding dengan intensitas radiasi yang datang. Detektor yang bekerja pada daerah tegangan ini disebut detektor Geiger-Mueller. Pulsa keluaran dari detektor Geiger-Mueller tinggi pulsa/amplitudonya tidak tergantung lagi dengan jenis dan energi radiasi yang datang, sehingga detektor Geiger-Mueller tidak dapat digunakan untuk spektroskopi nuklir^[3].

Dengan adanya beda potensial antara anoda dan katoda, maka timbul medan listrik yang dapat memisahkan pasangan ion dan elektron yang terbentuk. Ion positif bergerak ke arah katoda dan elektron bergerak ke arah anoda. Kecepatan gerak (v) ion dan elektron dinyatakan sebagai fungsi linear.

Untuk bentuk silinder diformulasikan^[8]

$$v = \frac{\mu}{P} \times \frac{V}{r \ln \frac{b}{a}} \quad (1)$$

dengan v : kecepatan gerak ion (cm/detik),

V : tegangan antara anoda dengan katoda (volt),

b : jari-jari katoda (cm),

a : jari-jari anoda (cm),

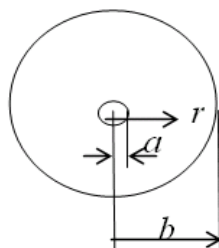
r : jari-jari tabung dari pusat ke ujung antara anoda dan katoda (cm),

μ : mobilitas (cm/detik)(volt/cm)⁻¹(cmHg),

P : tekanan gas isian.

Medan Listrik di Dalam Tabung Detektor

Tabung detektor yang digunakan untuk silinder yang berporos konsentris. Jari-jari tabung bagian luarnya (katoda) adalah b dan jari-jari kawat yang terbentang di bagian dalam (anoda) adalah a . Dengan r adalah jari-jari mulai dari pusat tabung ke antara ujung a dan b . Untuk lebih jelasnya disajikan pada Gambar 4



Gambar 4. Jari-jari tabung (r) dari pusat tabung ke antara ujung anoda dan katoda^[8].

Untuk detektor yang berbentuk silinder dengan pusat muatan adalah poros dan jari-jari r serta beda potensial sebesar V pada jarak r , maka garis gaya yang menembus seluruh selimut silinder akan berbanding lurus dengan kuat medan listriknya $E_{(r)}$ dinyatakan dalam persamaan sebagai^[8,9]

$$E_{(r)} = \frac{V_{(r)}}{r \ln \frac{b}{a}} \quad (2)$$

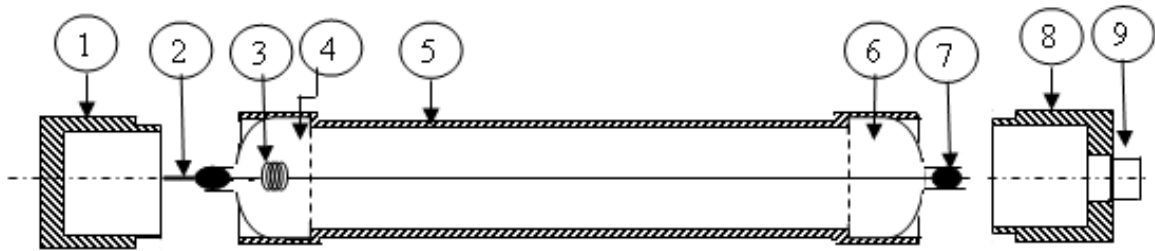
TATA KERJA PENELITIAN

Pembuatan Tabung Detektor Geiger-Mueller

Pembuatan tabung detektor dari bahan *stainless steel* dan tutup dari tabung gelas dikerjakan dengan menggunakan mesin bubut yang ada di fasilitas Bengkel Elektro Mekanik (BEM) PTAPB-BATAN Yogyakarta, sedang anoda detektor dibuat dari bahan kawat tungsten dengan diameter 0,08 mm. Tabung detektor Geiger-Mueller dari logam dan detail komponen tabung detektor disajikan pada Gambar 5.

Bahan-bahan detektor Geiger-Mueller yang telah selesai dikerjakan dicuci menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan detergen untuk menghilangkan minyak, kemudian dibilas dengan aquades dan terakhir digunakan alkohol kemudian dikeringkan dan disimpan pada ruang vakum (desikator).

Setelah semua komponen detektor dalam kondisi bersih, maka dilakukan perakitan dengan cara memasang tutup menggunakan lem epoxy super strength pada kedua ujung tabung detektor, sedang pemasangan anoda dari bahan kawat tungsten yang dipasang tepat pada poros sumbu tabung detektor dilakukan dengan teknik pengelasan gelas logam antara kawat tungsten dan tutup gelas pada kedua ujung tabung detektor^[10]. Hasil perakitan detektor Geiger-Mueller disajikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Tabung detektor Geiger-Mueller dari tabung logam (*stainless steel*).

Keterangan: 1. Tutup luar detektor sebelah kiri
2. Anoda
3. Pir/ pegas
4. Tutup detektor sebelah kiri
5. Tabung detektor

6. Tutup tabung detektor sebelah kanan
7. Sambungan gelas dengan logam (dilas)
8. Tutup detektor luar sebelah kanan
9. Terminal keluaran (BNC)



Gambar 6. Hasil perakitan tabung detektor Geiger-Mueller.

Pemvakuman Tabung Dan Pengisian Gas Detektor

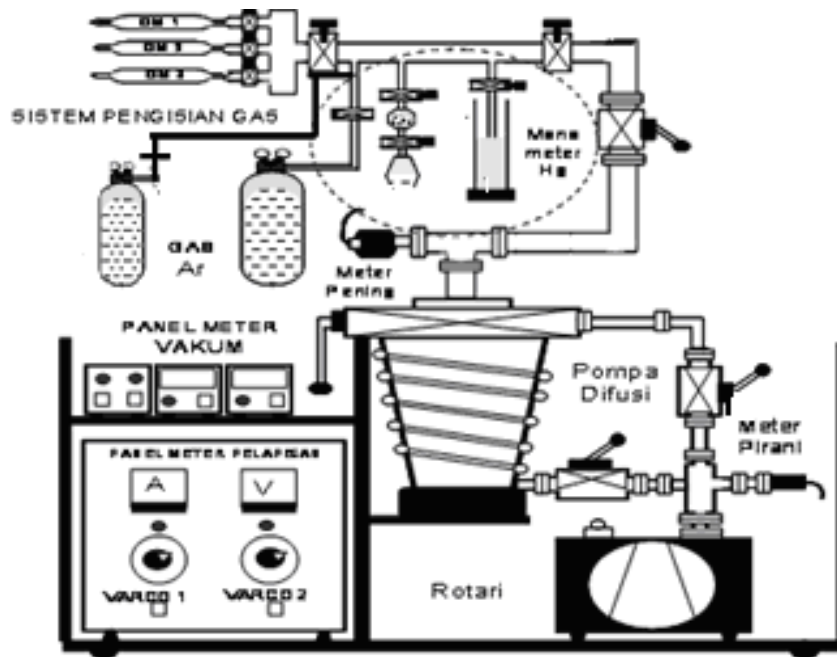
Tabung detektor yang telah dirakit selanjutnya dilakukan pemvakuman menggunakan pompa rotari hingga tekanan 10^{-2} torr kemudian dilanjutkan dengan pompa difusi agar diperoleh keampaan sekitar 2×10^{-5} torr. Tabung detektor yang telah mencapai kevakuman tinggi, siap diisi gas.

Dalam pengisian gas pada detektor, gas etanol dan brom sebagai pemadam yang mempunyai tekanan lebih rendah yakni 1 cmHg dan 0,2 cmHg dimasukkan terlebih dahulu ke dalam tabung detektor kemudian diikuti gas argon sebagai gas utama yang mempunyai tekanan lebih tinggi sebesar 7 cmHg kemudian tabung detektor yang lain perbandingan tekanan Ar-etanol divariasi sebesar 9:1, dan 19:1 untuk gas Ar-etanol. Dengan cara yang sama dilakukan untuk detektor yang diisi dengan gas argon dan brom pada perbandingan tekanan 100:1, 50:1 dan 33:1. Bila tekanan gas yang lebih tinggi dimasukkan ke tabung terlebih dahulu maka akan kesulitan untuk memasukan gas pemadam yang tekanannya lebih rendah karena adanya gaya tolak dari gas yang ada di dalam tabung sehingga campuran gas kurang homogen. Skema sistem instalasi pemvakuman dan pengisian gas detektor Geiger-Mueller disajikan pada Gambar 7.

Pengujian Karakteristik Detektor Geiger-Mueller

Pengujian detektor dilakukan untuk mengetahui karakteristik yang meliputi panjang daerah tegangan kerja (*plateau*), *slope*, tegangan operasi, *resolving time* dan umur detektor. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kualitas detektor dan respon terhadap radiasi maupun tanpa radiasi (cacah latar). Susunan rangkaian alat uji detektor Geiger-Mueller disajikan pada Gambar 8.

Untuk mengetahui panjang daerah tegangan kerja (*plateau*), *slope*, tegangan operasi detektor dari hasil variasi tekanan gas isian, maka untuk setiap perlakuan variasi gas isian dilakukan pencacahan terhadap perubahan tegangan operasi detektor. Data hasil pencacahan detektor dengan gas isian Ar-etanol menggunakan sumber radiasi Cs-137 ditunjukkan pada Tabel 1 sedang data hasil pencacahan detektor dengan gas isian Ar-Br menggunakan sumber radiasi Cs-137 disajikan pada Tabel 2.



Gambar 7. Skema sistem instalasi pemvakuman dan pengisian gas detektor Geiger-Mueller.



Gambar 8. Skema rangkaian alat uji detektor Geiger-Mueller

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *Plateau*, *Slope* dan Tegangan Operasi Detektor Geiger-Mueller Dengan Isian Gas Ar-Etanol dan Ar-Br

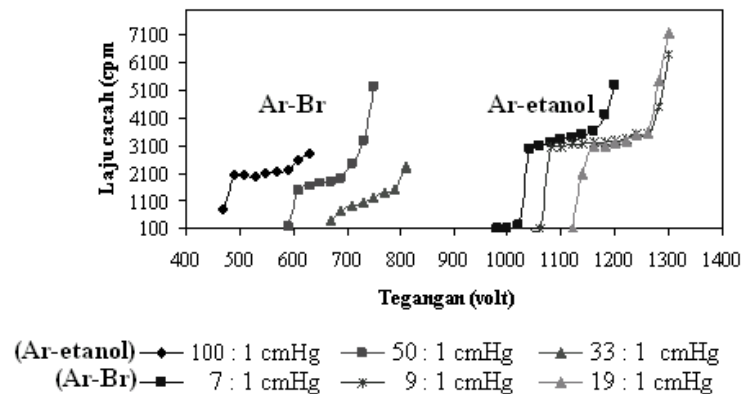
Data untuk menentukan *plateau*, *slope* dan tegangan operasi dari variasi tekanan Ar-etanol dan Ar-Br disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data hasil pencacahan detektor dengan gas isian Ar-etanol.menggunakan sumber radiasi Cs-137

Tegangan tinggi (V)	Perbandingan tekanan gas isian Ar:etanol dengan tekanan total 10 cmHg		
	7 : 1	9 : 1	19 : 1
980	80 ± 4		
1000	95 ± 3		
1020	219 ± 4		
1040	2985 ± 3	60 ± 3	
1060	3118 ± 5	112 ± 2	
1080	3227 ± 5	3026 ± 37	
1100	3331 ± 5	3062 ± 46	
1120	3426 ± 18	3148 ± 44	116 ± 7
1140	3506 ± 36	3190 ± 47	2117 ± 36
1160	3623 ± 57	3210 ± 45	3093 ± 53
1180	4223 ± 47	3234 ± 46	3106 ± 49
1200	5274 ± 39	3264 ± 46	3242 ± 38
1220		3349 ± 44	3301 ± 50
1240		3501 ± 43	3532 ± 42
1260		3527 ± 41	3579 ± 67
1280		4547 ± 56	5443 ± 74
1300		6397 ± 73	7183 ± 59

Tabel 2. Data hasil pencacahan detektor dengan gas isian Ar-Br, menggunakan sumber radiasi Cs-137

Tegangan tinggi (V)	Perbandingan tekanan gas isian Ar : Br dengan tekanan total 20 cmHg		
	100 : 1	50 : 1	33 : 1
470	809 ± 8		
490	2047 ± 33		
510	2055 ± 41		
530	1985 ± 35		
550	2082 ± 14		
570	2169 ± 13		
590	2208 ± 53	142 ± 3	
610	2560 ± 16	1451 ± 41	
630	2791 ± 74	1648 ± 8	
650		1724 ± 7	
670		1790 ± 16	396 ± 23
690		1948 ± 32	727 ± 18
710		2436 ± 43	1025 ± 6
730		3304 ± 49	1034 ± 16
750		5219 ± 65	1200 ± 38
770			1379 ± 21
790			1491 ± 49
810			2316 ± 46



Gambar 9. Hubungan tegangan terhadap laju cacah.

Dari Tabel 1 dan Tabel 2, selanjutnya dibuat grafik hubungan tegangan terhadap laju cacah yang disajikan pada Gambar 9. Berdasarkan Gambar 9 dan Tabel 1 maka panjang *plateau* dari detektor dapat dihitung menggunakan persamaan panjang *plateau* = $V_2 - V_1$. Untuk perbandingan gas Ar-etanol sebesar 7:1 pada tekanan total 10 cmHg diperoleh panjang *plateau* = $V_2 - V_1 = 1160 - 1040 \text{ V} = 120 \text{ V}$

Tegangan operasi detektor Geiger-Mueller dapat ditentukan dengan cara setengah (1/2) dari panjang *plateau*^[3] dan dirumuskan $= \frac{V_1 + V_2}{2}$, dengan V_1 : tegangan ambang (*threshold voltage*), V_2 : tegangan ambang mulai lucutan (*break down discharge*).

Berdasarkan Tabel 1, tegangan operasi detektor diperoleh $= \frac{(1160 + 1040)}{2} \text{ V} = 1100 \text{ V}$

Slope dihitung menggunakan persamaan^[3] $= \frac{100(N_2 - N_1)/N_1}{V_2 - V_1} \times 100\%$,

dengan V_1 : tegangan ambang (*threshold voltage*),
 V_2 : tegangan ambang mulai lucutan (*break down discharge*),
 N_1 : jumlah cacah pada tegangan V_1 ,
 N_2 : jumlah cacah pada tegangan V_2

Slope untuk perbandingan gas Ar-etanol sebesar 7:1 berdasarkan Tabel 1 diperoleh

$$\begin{aligned} \text{Slope} &= \frac{100(N_2 - N_1)/N_1}{V_2 - V_1} \times 100\% \\ &= \frac{100(3611 - 2984)/2984}{1160 - 1040} \times 100\% = 18,12 \text{ \%/100 V.} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, maka *plateau*, *slope* dan tegangan operasi untuk perbandingan gas Ar-etanol (7:1; 9:1 dan 19:1) dan Ar- Br (100:1; 50:1 dan 33:1) dapat ditentukan, dan hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, maka tegangan operasi detektor Geiger-Mueller untuk gas isian Ar-etanol dengan tekanan divariasi masing-masing 7:1; 9:1 dan 19:1 diperoleh tegangan operasi berturut-turut 1100 V, 1160 V dan 1200 V. Hasil ini menunjukkan bahwa dari ketiga variasi perbandingan tekanan gas isian detektor Geiger-Mueller (Ar-etanol), tekanan gas pemadam (etanol) mempunyai pengaruh terhadap tegangan operasi detektor, semakin kecil tekanan gas pemadam maka akan menghasilkan tegangan operasi yang semakin tinggi. Hal ini karena semakin kecil tekanan gas pemadam berarti dalam tabung detektor didominasi oleh gas Ar yang mempunyai potensial ionisasi 15,7 eV lebih besar dari uap etanol sebesar 12,7 eV^[8] sehingga untuk menghasilkan proses ionisasi agar terjadi pasangan ion-elektron diperlukan tegangan yang semakin tinggi.

Tabel 3. Hasil perhitungan panjang *plateau*, *slope* dan tegangan operasi untuk gas isian Ar-etanol dan Ar-Br

Perbandingan gas isian	Panjang <i>plateau</i> (V)	<i>Slope</i> (%/100 V)	Tegangan operasi (V)
Gas isian Ar-etanol, dengan tekanan total 10 cmHg			
7 : 1	120	17,51	1100
9 : 1	180	9,60	1160
19 : 1	100	20,58	1200
Gas isian Ar-Br, dengan tekanan total 20 cmHg			
100 : 1	100	7,68	540
50 : 1	80	42,32	650
33 : 1	70	67,20	750

Dari hasil pentuan panjang *plateau* (daerah tegangan kerja) dan perhitungan *slope* (kemiringan daerah tegangan kerja) sebagaimana disajikan pada Tabel 3 dari variasi perbandingan tekanan gas Ar-etanol masing-masing 7:1, 9:1 dan 19:1 dengan tekanan total 10 cmHg, berturut-turut diperoleh panjang *plateau* dan *slope* 120 V dengan *slope* 17,51 %/100 V, 180 V dengan *slope* 9,60 %/100 V dan 100 V dengan *slope* 20,58 %/100 V. Dengan hasil ini, maka detektor yang dibuat telah mempunyai kualitas *plateau* yang cukup baik karena mempunyai panjang *plateau* ≥ 100 V, sedang *slope* untuk perbandingan tekanan gas Ar-etanol 7:1 dan 19:1 diperoleh *slope* sebesar 17,51 %/100 V dan 20,58 %/100 V. Hasil ini kurang baik, karena masih di atas 10%/100 volt, menurut HARSHAW [11] kualitas detektor Geiger-Mueller dikatakan baik jika mempunyai panjang *plateau* ≥ 100 V dengan *slope* ≤ 10 %/100 V. Hasil ini juga membuktikan bahwa tekanan gas etanol yang terlalu tinggi dan terlalu rendah sangat berpengaruh terhadap *plateau* dan *slope* detektor sehingga perlu dicari kondisi yang optimum, dalam hal ini diperoleh pada perbandingan 9:1 untuk gas Ar dan etanol dengan menghasilkan panjang *plateau*, *slope* dan tegangan operasi terbaik sebesar 180 V dengan *slope* 9,60 %/100 V pada tegangan operasi 1160 V.

Untuk detektor Geiger-Mueller yang menggunakan gas isian Ar-Br sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3 untuk variasi perbandingan tekanan 100:1, 50:1, dan 33:1 dengan tekanan total 10 cmHg, berturut-turut diperoleh panjang *plateau*, *slope* dan tegangan operasi 100 V, *slope* 7,68%/100 V pada tegangan operasi 540 V, 80 V, *slope* 42,32%/100 V pada tegangan operasi 650 V dan 70 V, *slope* 67,20%/100 V pada tegangan 750 V.

Dari ketiga variasi perbandingan tekanan tersebut diperoleh hasil terbaik pada perbandingan 100:1 cmHg untuk Ar-Br dengan hasil panjang *plateau* 100 V, *slope* sebesar 7,68 %/100 V pada tegangan operasi 540 V. Hasil ini menunjukkan bahwa tekanan gas Br yang semakin rendah akan menghasilkan karakteristik detektor yang lebih baik yakni mempunyai panjang *plateau* 100 V dan *slope* $< 10\%$ /100 V dan tegangan operasi di bawah 800 V. Ini sesuai dengan pendapat PRICE. W.J dan HARSHAW^[8,11] yang menyatakan bahwa detektor Geiger-Mueller yang menggunakan gas halogen (Br,Cl) sebagai gas pemadam dapat menghasilkan tegangan operasi sekitar 600–850 volt. Hal ini terjadi karena gas Br sebagai gas pemadam mempunyai potensial ionisasi rendah 12,7 eV dan sifatnya sangat reaktif sehingga mudah terionisasi, dengan demikian untuk menghasilkan proses ionisasi cukup dengan tegangan yang rendah.

Ini merupakan keuntungan karena detektor Geiger-Mueller dalam operasinya hanya membutuhkan konsumsi catu daya rendah bila dibanding dengan gas isian argon dan etanol. Tetapi gas halogen juga mempunyai sifat negatif selain beracun juga sangat reaktif sehingga dalam pembuatan detektor Geiger-Mueller perlu dipilih bahan yang tahan terhadap sifat tersebut. Kesulitan lainnya karena tekanan gas Br yang sangat kecil 0,1-1% dari tekanan total gas isian detektor PRICE. J^[8], maka untuk memasukkan gas Br ke dalam tabung detektor perlu peralatan pengukur tekanan yang sangat teliti agar diperoleh perbandingan yang tepat antara gas Ar dengan gas Br, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencapai hasil yang optimum.

Pengujian *Resolving Time* Detektor Dengan Gas Isian Ar-Etanol dan Ar-Br

Setelah diketahui panjang *plateau*, *slope* dan tegangan operasi detektor yang terbaik, dalam hal ini untuk gas isian Ar-etanol dicapai pada perbandingan 9:1, maka dilakukan pengujian waktu resolusi (τ) dengan tegangan operasi yang dipasang pada tegangan tengah *plateau* yakni 1160 V, sedang untuk gas isian Ar-Br keadaan terbaik diperoleh pada perbandingan 100:1 pada tegangan operasi 540 V. Untuk pengukuran *resolving*

time dilakukan dengan metode pencacahan menggunakan dua sumber radioaktif yang sama. Dalam hal ini digunakan sumber radioaktif Cs-137, dengan aktivitas masing-masing 10 μ Ci. Hasil pencacahan untuk menentukan *resolving time* detektor gas isian Ar-etanol dan Ar-Br disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data pencacahan untuk menentukan *resolving time* detektor Geiger-Mueller dengan gas isian Ar-etanol dan Ar-Br menggunakan sumber Cs-137.

HV (V)	Hasil cacah Ar-etanol 9 : 1 dengan tekanan total 10 cmHg			
	N ₁ (cpm)	N ₁₋₂ (cpm)	N ₂ (cpm)	N _b (cpm)
1160	3235	6079	3125	134
	3172	5953	3068	137
	3164	6134	3142	132
	3143	6035	3089	133
	3246	6073	3165	135
Rerata	3190 \pm 44	6055 \pm 66	3112 \pm 31	134 \pm 2
Cacah integral = 76295 cacah				
HV (V)	Hasil cacah Ar-Br 100 : 1 dengan tekanan total 20 cmHg			
	N ₁ (cpm)	N ₁₋₂ (cpm)	N ₂ (cpm)	N _b (cpm)
540	2063	3652	1820	152
	1917	3585	1833	149
	1945	3644	1895	158
	2078	3675	1921	153
	2015	3745	1813	157
Rerata	2004 \pm 29	3660 \pm 52	1856 \pm 47	154 \pm 4
Cacah integral = 65926 cacah				

Berdasarkan Tabel 4 maka *resolving time* dari detektor (τ) dapat dihitung menggunakan persamaan^[3]

$$\tau = \frac{N_1 + N_2 - N_{1-2} - N_b}{(N_{1-2})^2 - (N_1)^2 - (N_2)^2},$$

dengan N₁ : jumlah cacah sumber 1,
N₂ : jumlah cacah sumber 2,
N₁₋₂ : jumlah cacah sumber 1 dan 2,
N_b : jumlah cacah latar.

Resolving time detektor dengan gas isian Ar-etanol

$$\tau = \frac{3190 + 3112 - 6055 - 134}{(6055)^2 - (3190)^2 - (3112)^2} = \frac{113}{(36663025) - (10176100) - (9684544)} = 6,725 \mu \text{ detik.}$$

Resolving time detektor dengan gas isian Ar-Br

$$\tau = \frac{2004 + 1856 - 3660 - 154}{(3660)^2 - (2004)^2 - (1856)^2} = \frac{46}{(13395600) - (4016016) - (3444736)} = 7,75 \mu \text{ detik.}$$

Menentukan Nilai Cacah Sebenarnya Detektor Geiger-Mueller Dengan Gas Ar-Etanol dan Ar-Br

Detektor Geiger-Mueller selama digunakan untuk mencacah radiasi mengalami waktu mati (*dead time*) atau tidak respon terhadap radiasi yang datang sehingga diperlukan faktor koreksi untuk mengetahui nilai cacah yang sebenarnya (N_{sb}). Data untuk menentukan nilai cacah yang sebenarnya (N_{sb}) detektor Geiger-Mueller dengan gas isian Ar-etanol dan Ar-Br disajikan pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5, untuk detektor dengan gas isian Ar-etanol diperoleh N_t tercacah (N_t) sebesar 3212–136 = 3076 cpm, sedang untuk detektor dengan gas isian Ar-Br diperoleh N_t tercacah (N_t) sebesar 1863–149 = 1714 cpm. Faktor koreksi (F_t) detektor Geiger-Mueller dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan $F_t = 1 - (N_t \times \tau)$

dengan F_t = faktor koreksi, N_t = N_t tercacah, τ = *resolving time*.

Menghitung faktor koreksi detektor Gieger Mueller gas isian Ar-etanol

$$F_t = 1 - (N_t \times \tau) = 1 - (3076 \times 6,725 \times 10^{-6}) = 0,98.$$

Nilai cacah sebenarnya (N_{sb}) dapat diketahui dengan persamaan $N_{sb} = \frac{N_t}{(1 - N_t \times \tau)}$

$$N_{sb} = \frac{3076}{(1 - 3076 \times 6,725 \times 10^{-6})} = 3139 \text{ cpm}$$

Tabel 5. Data hasil pencacahan untuk nilai cacah yang sebenarnya dengan sumber Cs-137

HV (V)	Hasil pencacahan Ar-etanol 9:1 dengan tekanan total 10 cmHg	
1160	N tercacah (cpm)	Cacah latar (cpm)
	3136	135
	3258	138
	3226	134
	3176	135
	3265	137
Rata-rata	3212 ± 49	136 ± 2
	Cacah integral = 21583 cacah	
HV (volt)	Hasil pencacahan Ar-Br 100:1 dengan tekanan total 20 cmHg	
540	N tercacah (cpm)	Cacah latar (cpm)
	1865	145
	1798	151
	1854	149
	1920	152
	1879	148
Rata-rata	1863 ± 39	149 ± 2
	Cacah integral = 15836 cacah	

Menghitung faktor koreksi detektor Gieger Mueller gas isian Ar-Br

$$F_t = 1 - (N_t \times \tau) = 1 - (1714 \times 7,75 \times 10^{-6}) = 0,988.$$

Nilai cacah sebenarnya (N_{sb}) untuk detektor Gieger Mueller gas isian Ar-Br diperoleh

$$N_{sb} = \frac{1714}{(1 - 1714 \times 7,75 \times 10^{-6})} = 1737 \text{ cpm.}$$

Dari hasil cacah sebenarnya (N_{sb}) hasil perhitungan untuk detektor Geiger-Mueller yang diisi gas Ar-etanol diperoleh nilai 3139 cpm, sedang saat pencacahan (N_t) diperoleh nilai 3076 cpm sehingga ada perbedaan antara nilai cacah sebenarnya (N_{sb}) dengan hasil yang tercacah oleh detektor (N_t) sebesar 3139–3076 = 63 cpm. Nilai cacah sebenarnya (N_{sb}) lebih banyak bila dibanding dengan nilai yang tercacah oleh detektor. Demikian juga pada detektor Geiger-Mueller dengan gas isian Ar-Br diperoleh tercacah oleh detektor (N_t) sebesar 1714 cpm, dan nilai cacah sebenarnya (N_{sb}) sebesar 1737 cpm, sehingga terdapat selisih sebesar 1737–1714 = 23 cpm. Hal ini terjadi karena detektor Geiger-Mueller mempunyai *resolving time* yakni sebesar $\tau = 6,725 \mu$ detik untuk Ar-etanol dan $\tau = 7,75 \mu$ detik untuk Ar-Br sehingga pada waktu tersebut detektor tidak tanggap/respon terhadap radiasi yang datang mengenai detektor. Hal ini sesuai pendapat WISNU ARYA W.^[3], yang mengatakan apabila ada dua zarah radiasi yang masuk ke dalam detektor berurutan dalam waktu yang berdekatan, maka akibat

peristiwa *avalanche* ion dari arah radiasi pertama akan menyebabkan detektor tidak respon beberapa saat sehingga tidak dapat mencatat adanya arah radiasi yang datang kemudian.

Semakin kecil nilai *resolving time* (waktu pemulihan yang diperlukan oleh detektor dapat merespon radiasi yang datang berikutnya) berarti detektor Geiger-Mueller akan semakin sensitif/peka terhadap radiasi yang datang, dengan demikian perbedaan nilai tercacah sebelum dikoreksi dibandingkan dengan nilai cacah sebenarnya setelah dikoreksi akan semakin kecil pula. Adanya waktu mati pada detektor Geiger-Mueller merupakan suatu kelemahan dari detektor tersebut, sehingga detektor ini tidak cocok untuk mengukur sumber radiasi yang mempunyai aktivitas tinggi, karena sumber radiasi yang memiliki aktivitas tinggi akan memancarkan intensitas radiasi yang semakin besar pula dan adanya waktu mati pada detektor Geiger-Mueller berarti akan banyak intensitas radiasi yang tidak terdeteksi oleh detektor

Umur Detektor Geiger-Mueller dengan Gas Isian Ar-Etanol dan Ar-Br

Umur detektor Geiger-Mueller berbanding lurus dengan jumlah cacah yang dihasilkan oleh detektor tersebut. Pada penelitian ini umur detektor belum dapat diketahui karena selama melakukan karakterisasi detektor masih memiliki plateau yang panjang dan bentuk pulsanya belum mengalami *discharge*. Jumlah cacah yang dihasilkan detektor dengan gas isian Ar-etanol sebanyak $3,105 \times 10^5$ cacah, sedang jumlah cacah yang dihasilkan detektor dengan gas isian Ar-Br adalah $1,102 \times 10^7$ cacah.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengaruh tekanan gas isian argon-etanol dan argon-brom terhadap unjuk kerja pada detektor Geiger-Mueller dapat disimpulkan sebagai berikut :

Untuk gas etanol sebagai gas pemadam pada perbandingan Ar-etanol sebesar 9:1 pada tekanan 10 cmHg diperoleh karakteristik terbaik panjang *plateau* 180 V, *slope* 9,60 %/100 V, tegangan operasi 1160 V dan *resolving time* $\tau = 6,725 \mu$ detik.

Untuk gas halogen (Br) sebagai pemadam pada perbandingan 100 : 1 pada tekanan 20 cmHg diperoleh karakteristik terbaik panjang *plateau* 100 V, *slope* 42,32 %/100 V, tegangan operasi 540 V dan *resolving time* $\tau = 7,75 \mu$ detik

Pada penelitian ini umur detektor belum dapat diketahui karena selama melakukan karakterisasi detektor masih memiliki plateau yang panjang dan bentuk pulsanya belum mengalami *discharge*. Jumlah cacah yang dihasilkan detektor sementara untuk gas isian Ar-etanol sebesar $3,105 \times 10^5$ cacah, sedang untuk Ar-Br sebesar $1,102 \times 10^7$ cacah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Pramudita Anggraita, Prof. Drs. Sudjtmoko, SU., Prof. Darsono, M.Sc., Irianto, A.Md., Sumarmo dan seluruh staf kelompok Aplikasi Akselerator atas segala bantuan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. SURAHKMAN, SAYONO, "Pembuatan Detektor Geiger-Mueller Tipe Jendela Samping Dengan Gas Isian Argon -Etanol", Prosiding Seminar Nasional V Sumber Daya Manusia Teknologi Nuklir, STTN-BATAN, Yogyakarta, 5 November (2009).
2. AGUS SANTOSO, "Pembuatan Detektor Geiger-Mueller Tipe Jendela Samping Dengan Gas Isian Neon dan Chlor", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY-BATAN, Yogyakarta, 21-22 Maret (1990), hal 370-374.
3. WISNU ARYA W., Teknologi Nuklir, Proteksi Radiasi dan Aplikasinya, Penerbit Andi, Yogyakarta (2007) 209-121.
4. AGUS SANTOSO, "Pengaruh Tekanan Gas Isian Terhadap Karakteristik Detektor Geiger-Mueller dengan gas Isian Neon-Brom", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY-BATAN, Yogyakarta, 26-28 April (1994), hal 27-35.
5. E. FEYVES AND O. HAIMAN, The Phycical Principles of Nuclear Radiation Measurement, Academisi Kiado, Budapest (1969) 219-235.

6. NICHOLAS TSOULFANIDIS, Measurement and Detection of Radiation, University of Missouri-Rolla, New York USA, (1983) 169-177. PETER SOEDOJO, Azas-Azas Ilmu Fisika Jilid 4 Fisika Modern, FMIPA-UGM, Gajah Mada Press Yogyakarta, Edisi 1 (2001) 226-232.
7. ROLF MICHEL, Radiation Measurement Method, A part of Nuclear Analytical Techniques, ZSR, Leibniz Univitet, Hanover (2008) 4-5.
8. PRICE, W.J., Nuclear Radiation Detection, Second Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York (1964) 1-28, 41-49, 123-126.
9. KNOLL, GLENN F., Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, Inc, New York (2000) 41-42.
10. AGUS SANTOSO, BA. TJIPTO SUJITNO, SAYONO, MUDJIONO, SUMARMO, Alat Detektor Radiasi dengan Perakitan Elektroda Menggunakan sistem Pengelasan Gelas dengan Logam, patent No. ID 0000667 S, SK Ditjen HKI No.H3.HC.04.02.-2767/2006.
11. HARSHAW, Nuclear Detectors and Systems Halogen Quenched Geiger-Mueller Tubes, Catalog. Crystal & Electronic Departement, Solon, Ohio, USA. (1998) 2-3.